FRAGMENTAÇÃO FLORESTAL E USO DO SOLO NA AMAZÔNIA LEGAL

Cláudio Belmonte de Athayde BOHRER[1]
Simone Rodrigues de FREITAS[2]
Alex PFAFF[3]
Eustáquio José REIS[4]
Marcia Cristina Santiago de MELLO[5]

RESUMO

As mudanças recentes ocorridas na Amazônia brasileira, como resultado do aumento da exploração madeireira e da expansão da fronteira agrícola, com a consequente conversão de extensas áreas de floresta em cultivos e pastagens, vem despertando cada vez mais a preocupação de cientistas, políticos e da sociedade em geral. Além do crescente impacto sofrido pelas populações tradicionais locais, a perda da biodiversidade e a transferência de grandes quantidades de carbono para a atmosfera são questões ambientais e políticas de importância crescente no âmbito global. A maioria dos estudos realizados sobre o problema enfatiza a quantificação de áreas desmatadas na escala regional ou estadual. Entretanto, o papel dos diferentes padrões espaciais de ocupação nos processos ecológicos e ambientais da região ainda é pouco conhecido. Este trabalho descreve alguns resultados iniciais da análise dos padrões espaciais e temporais de desmatamento na Amazônia Legal através da utilização de índices métricos da paisagem. São analisadas e discutidas as diferenças de padrões entre diferentes partes da região, as possíveis relações com fatores ambientais e socio-econômicos, resultantes do processo de desenvolvimento, aumento da infra-estrutura, e o papel das políticas públicas. A identificação de relações consistentes entre os diferentes fatores e os padrões espaciais poderá auxiliar na construção de modelos de previsão dos possíveis impactos futuros do processo de desenvolvimento na biodiversidade regional e na dinâmica climática do planeta.

INTRODUÇÃO

As mudanças ocorridas nas últimas décadas na Amazônia Legal, como resultado do aumento populacional, da expansão da fronteira agrícola e da exploração madeireira, vem despertando cada vez mais a preocupação de cientistas, políticos e da sociedade em geral (FEARNSIDE, 2005; FURLEY, 1994; MORAN, 1993). Até meados da década de 80, o processo de desmatamento na Amazônia ocorreu como conseqüência principalmente de políticas governamentais, tais como subsídios creditícios e fiscais, construção de estradas e planos de colonização (ANDERSEN; 1996). Desde então, além do fatores exógenos, o processo vem sendo estimulado cada vez mais por fatores endógenos, tais como o crescimento populacional, a abertura de estradas locais e vicinais para exploração madeirera, a criação de gado e cultivos agrícolas para atender à demanda regional (ANDERSEN et al., 2002; CHOMITZ; THOMAS, 2000; LAURANCE et al., 2002; MARGULIS, 2003; WALKER et al., 2004). Entre os efeitos associados ao processo de desmatamento destacam-se, em termos positivos, o crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) rural e urbano, o aumento da expectativa de vida e a queda do analfabetismo e da mortalidade

[1] Universidade Federal Fluminense, Professor Adjunto PhD, bohrer@vm.uff.br
[2] Universidade Federal Fluminense, Doutora, sfreitas@biologia.ufrj.br
[3] University of Columbia, Professor PhD, ap196@columbia.edu
[4] Instituto de Pesquisas Econômicas e Sociais Aplicadas, Pesquisador PhD, ejreis@ipea.gov.br
[5] Bióloga, aluna do Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental da UFF, santiagomello@yahoo.com.br

infantil, e em termos negativos o desflorestamento, cujas conseqüências incluem a perda de produtividade do solo, a extinção de espécies, a emissão de carbono e o aumento de riscos de fogo acidental (ANDERSEN et al., 2002; GASH et al., 1996; LAURANCE et al., 2001; NEPSTAD et al., 2001).

Sistemas de Informações Geográficas podem ser usados em análises e simulações sobre os impactos ambientais decorrentes da melhoria da infra-estrutura na região amazônica, e de sua relação com diversos atributos ambientais (solos, clima, relevo, recursos minerais, vegetação, fauna). Integrados com outros enfoques utilizados em modelos e análises ecológicas e sócio-econômicas, podem melhorar o poder de previsão de simulações e cenários (BOCKSTAEL, 1996; DALE; PEARSON, 1997; LAURANCE et al., 2002; SKOLE et al., 1994; WOOD; SKOLE, 1998), o que pode ser atestado pelo uso crescente de SIGs na modelagem ambiental, em escalas que variam da local para a global (GOODCHILD et al., 1993, SOLOMON; SHUGART, 1993; WARING; RUNNING, 1998). A preocupação com os efeitos de mudanças nos padrões de uso do solo e mudanças climáticas nos ecossistemas naturais remanescentes, indica um potencial a ser explorado (FORMAN, 1997, GASH et al., 1996; LAURANCE et al., 2001, SHUGART, 1998).

A Ecologia da Paisagem compreende o estudo da estrutura, funções e mudanças em uma área heterogênea de terra, composta por uma combinação de ecossistemas e suas interações. Busca compreender as relações espaciais entre elementos da paisagem, o fluxo de espécies, energia e materiais e a dinâmica ecológica do mosaico da paisagem (FORMAN; GODRON, 1986). Um dos seus principais enfoques é a adoção do modelo matriz-fragmento-corredor no estudo das influências da estrutura da paisagem sobre diversos processos ecológicos. Matriz é o ecossistema com maior extensão e conectividade, com papel predominante no funcionamento da paisagem. Manchas (fragmentos) são áreas não-lineares que diferem em aparência do seu entorno, variando em tamanho, forma, tipo e bordas. Corredores são faixas estreitas de terra que dividem e conectam a paisagem. Incorporando conceitos da biogeografia de ilhas, dinâmica de populações e processos de extinção, este enfoque permite reavaliar propostas de manejo e conservação da natureza, com uma maior atenção para fatores como o tamanho e forma das manchas de habitats e as interações com os diferentes tipos de uso no entorno, enfatizando-se a percolação e a conectividade entre ecossistemas, aspectos espaciais importantes para maximizar o número de espécies ou minimizar a taxa de extinção (BENNET, 1999; FORMAN, 1997).

Fragmentação é o processo de divisão em partes de uma dada unidade de ambiente, que passam a ter condições ambientais diferentes do seu entorno. Como consequência, o habitat contínuo é dividido em fragmentos isolados dentro de uma matriz da habitats distintos (LAURANCE et al., 1997; MMA, 2003). Geralmente ocorre simultaneamente uma redução de área do habitat e aumento no isolamento das manchas de habitat remanescentes (FAHRIG, 1993). Os efeitos do processo incluem a redução da quantidade de habitat, aumento no número de manchas, diminuição no tamanho e aumento no isolamento das manchas. Aspectos importantes relacionados à estrutura e funcionamento de ecossistemas fragmentados incluem a área, forma, nível de isolamento, tipo de vizinhança e histórico de perturbação dos fragmentos (FORMAN, 1997).

O aumento da fragmentação do habitat florestal pode afetar diversos processos ecológicos (migração, dispersão, colonização e extinção de espécies; interações solo-vegetação-atmosfera) em diferentes escalas espaciais (LAURANCE; BIERREGARD-JR, 1997; FORMAN, 1997). Diferentes tipo de ações antrópica relacionadas à infra-estrutura (construção de estradas, linhas de transmissão, oleodutos, canalização e barragens) e o uso do solo (agricultura, pecuária, extração de madeira, reflorestamento, urbnização) influenciam o processo de fragmentação de modo diferenciado (FORMAN; ALEXANDER, 1998; WICHAM, 2000). Dificuldades na quantificação do processo incluem a carência de dados espaciais históricos e a comparação entre dados de diferentes fontes (metodologias e escalas de mapeamento, classes utilizadas).

Apesar da maioria dos estudos realizados sobre os impactos ambientais do desmatamento na Amazônia enfatizarem a quantificação do total de áreas desmatadas (INPE,1992; MARGULIS, 2003; REIS; GUZMÁN, 1992), já se constatou que a ocupação das terras e o desmatamento vêm aumentando também a fragmentação do habitat florestal na região (BATISTELLA et al., 2003, PEDLOWSKI et al., 1997; SKOLE; TUCKER, 1993; DALE; PEARSON, 1997). No entanto, o papel dos diferentes padrões espaciais de ocupação nos processos ecológicos e ambientais da região permanece pouco conhecido (FAHRIG, 1993; GASH et al., 1996; LAURANCE; BIERREGARD-JR, 1997; MMA, 2003; SCHELHAS; GREENBERG, 1996).

A relação entre os diferentes tipo de uso do solo e políticas governamentais com o processo do desmatamento vem sendo estudada em diferentes escalas espaciais, desde o nível da propriedade rural à toda Amazônia Legal, passando por assentamentos, setores censitários, municípios e estados (ANDERSEN; REIS, 1997; BATISTELLA; BRONDIZIO 2004; CHOMITZ; THOMAS, 2003; PERZ, 2001; MORAN, 1993; PFAFF, 1999; REIS; MARGULIS, 1991; SKOLE et al., 1993; WALKER et al., 2000; 2002; 2004). Diversos trabalhos enfatizam a relação entre estradas e impactos ambientais, incluindo o padrão espacial dos desmatamentos, em diversas regiões (CHOMITZ; GRAY, 1996; FORMAN; ALEXANDER, 1998; NELSON; HELLERSTEIN, 1997; TROMBULAK; FRISSELL, 2000) e na Amazônia Legal (ALVES, 1999; GOODLAND; IRWIN, 1975; LAURANCE et al., 2001; NEPSTAD et al., 2001). Existe um relativo consenso de que é necessário um maior desenvolvimento das análises espaciais aplicadas à geografia, ecologia e economia, tanto ao nível teórico quanto no desenvolvimento e teste de modelos de previsões com base em dados empíricos, que incorporem a diversidade socio-econômica e de paisagens da região e as relações entre padrões e processos, em diferentes escalas espaciais (BOCKSTAEL, 1996; KAIMOWITZ; ANGELSEN, 1998; PASQUIS et al., 2001; REIS et al., 2003; WALKER, 2003). Um dos aspectos que merecem atenção é a verificação de correlações significativas entre os padrões diferenciados de estrutura agrária e uso do solo em diferentes partes da região e os padrões de fragmentação florestal.

Este trabalho descreve a concepção e os resultados iniciais do projeto de estudo do processo de fragmentação florestal na Amazônia Legal e avaliação das mudanças ocorridas, com ênfase nos impactos ambientais e econômicos com a utilização de índices métricos da paisagem em diferentes níveis ou escalas espaciais (região, estado, município, setor censitário). O projeto dá continuidade a estudos realizados desde o início da década de 90 (ANDERSEN et al., 2002, BOHRER; CAMPOS, 1993; REIS; GUZMÁN, 1992;), com a integração de análises econométricas e ambientais espaciais e a implantação do SIG-AML (BOHRER et al., 2001), com estreita colaboração entre universidades e instituições de pesquisa brasileiras e internacionais. O objetivo geral destes estudos é analisar e desenvolver modelos que expliquem as possíveis relações entre os padrões espaciais e temporais de desmatamento nas diferentes partes da região e os diversos fatores ambientais e socio-econômicos, resultantes do processo de desenvolvimento, expansão da fronteira agrícola e aumento da infra-estrutura, com ênfase no papel das políticas públicas (REIS et al., 2003; PFAFF et al., 2004).

MÉTODOS e TÉCNICAS

O Sistema de Informações Geográficas para a Amazônia Legal - SIG-AML começou a ser desenvolvido e implantado na UFF em 1993 com o objetivo de montar uma base de dados espaciais visando uma maior facilidade e precisão na obtenção e manipulação de informações ambientais e geográficas sobre a região (BOHRER et al., 1994). Através do Projeto NEMESIS[6], o trabalho foi reestruturado, e implementado no Laboratório de Ecologia e Biogeografia do Departamento de Geografia, com a utilização dos programas ArcView/ArcInfo, possibilitando maior flexibilidade, performance e facilidade de treinamento

[6] http://www.nemesis.org.br

de pessoal, na manipulação de dados espaciais de diferentes fontes, formatos, escalas e sistemas de projeção (BOHRER et al., 2001).

A base de dados espaciais armazenada no SIG-AML consiste de um conjunto de mapas temáticos ambientais (solos, aptidão agrícola, clima, geologia, geomorfologia, hidrografia, vegetação, biodiversidade) e sobre a infra-estrutura física e administrativa (limites municipais, setores censitários, unidades de conservação, áreas indígenas, estradas e ferrovias), além de tabelas com dados sócio-econômicos, de diferentes fontes: Diagnóstico Ambiental da Amazônia Legal (IBGE, 1997); base de dados POESIA (CSR-IBAMA), PROBIO (2002); mosaicos de imagens Landsat classificadas produzidos pelo Tropical Rain Forest Information Center (MSU-TRFIC[7]) e pelo PRODES (INPE); mosaicos de imagens Landsat (EMBRAPA); base de dados SIPAM (2004); dados de inventário florestal (OLIVEIRA-FILHO, 1991; RADAMBRASIL, 1973-1984), incluindo estimativas de biomassa. (BOHRER; CAMPOS, 1993); mapas da malha municipal e setores censitários do IBGE (1991, 1995, 2000), dados dos censos agropecuário e demográfico (IBGE). A base de dados TRFIC contém mapas digitais elaborados a partir da interpretação de imagens Landsat MSS e TM cobrindo diversos anos (1978, 86, 92, 96), e em diferentes resoluções espaciais, e vem sendo utilizada em diversas análises sobre a região (SKOLE; TUCKER, 1993; SKOLE et al., 1993; 1994; WOOD; SKOLE, 1998).

Os dados são organizados em sistemas de projeção comuns e reclassificados (solos, vegetação), para extração de novas informações (ex. aptidão agrícola, relevo). As análises iniciais se concentraram na estimativa de área e extensão da diferentes variáveis ambientais e de infra-estrutura em nível municipal, dados utilizados para análises de correlações com dados censitários e a evolução da área desmatada, no período 1970-1996 (ANDERSEN et al., 2002). Estas estimativas estão sendo feitas também ao nível de setor censitário, possibilitando um maior refinamento das análises espaciais (REIS et al., 2003).

A análise de padrões espaciais de fragmentação foi realizada através do programa FRAGSTATS, que quantifica a extensão e a configuração espacial de fragmentos na paisagem através da extração de diversos índices métricos (McGARIGAL; MARKS, 1995; O'NEILL et al., 1988; TURNER; GARDNER, 1991). O projeto prevê a extração de índices por estado, município e setor censitário. Inicialmente o trabalho está sendo feito no nível municipal, sendo utilizados mapas digitais de cobertura do solo baseados na interpretação de imagens Landsat dos anos de 1986, 1992 e 1996 (TRFIC), e 2000 (PRODES), malha municipal (IBGE, 2000); e dados socioeconômicos dos Censos Agropecuário (1985 e 1996) e Demográfico (1991 e 2000). Os dados de cobertura do solo incluem as classes floresta, desmatamento, floresta em regeneração, não-floresta (cerrado, campina, várzeas), nuvem, sombra de nuvem e corpos d'água (hidrografia).

Através do programa ArcView 3.2, os mapas de cobertura do solo foram sobrepostos aos limites municipais (Figs. 1 e 2). Extraiu-se apenas a classe floresta, produzindo um mapa com a cobertura florestal dos municípios, convertido para o formato matricial (GRID). O programa FRAGSTATS-ARC foi utilizado para extrair as seguintes medidas dos fragmentos florestais dos municípios: área núcleo do fragmento, número de fragmentos florestais (NF), índice do maior fragmento, densidade de fragmentos em 100 ha (DF), tamanho médio dos fragmentos (TMF), índice de forma dos fragmentos balanceado pela área, índice da área núcleo média dos fragmentos e desvio-padrão do tamanho dos fragmentos florestais. A proporção de desmatamento em relação à área total do município foi calculada para cada município, sendo a proporção de cobertura florestal representada pela área núcleo dos fragmentos.

Os dados socioeconômicos, provenientes dos censos Demográfico e Agropecuário realizados pelo IBGE, foram utilizados para analisar a influência do processo de desenvolvimento sobre o padrão de fragmentação florestal e a perda de área florestal em cada município, no período 1986-2000. Os indicadores socioeconômicos usados foram:

[7] http://www.bsrsi.msu.edu

rebanho bovino, PIB Municipal total e agropecuário, investimentos na agropecuária, área dos estabelecimentos agropecuários, população residente urbana e rural, renda per capita, esperança de vida ao nascer, taxa de alfabetização e número de domicílios. Todas as variáveis, exceto DF, foram divididas pela área do município para minimizar o efeito da área (municípioa de diferentes tamanhos). As medidas dos fragmentos florestais e as proporções de cobertura florestal e desmatamento foram correlacionadas com os indicadores socioeconômicos. Em seguida, modelos de regressão linear múltipla, usando o método stepwise, foram gerados para explicar o padrão de fragmentação florestal e perda de floresta através do desenvolvimento socioeconômico, sendo as variáveis explicativas ou independentes os indicadores socioeconômicos, e as medidas dos fragmentos florestais e as proporções de floresta e desmatamento nos municípios as variáveis dependentes. O enfoque prevê inicialmente uma análise individual para cada estado, visando estabelecer possíveis similaridades e diferenças entre os estados relacionadas tanto com os diferentes padrões espaciais resultantes do processo de ocupação e expansão da fronteira agrícola na região, como das possíveis condicionantes ambientais, sócio-econômicas e políticas relacionadas ao processo.

RESULTADOS

Neste trabalho serão relatados apenas os resultados obtidos para o estado do Acre. O histórico de ocupação e a preocupação ambiental do governo estadual atual, que vem implementando políticas de desenvolvimento sustentável com a criação de novas unidades de conservação, incluindo reservas extrativistas, e o incentivo à organização social das comunidades indígenas e produtores rurais (ACRE, 2000), fazem do estado uma área de estudo interessante para a compreensão das relações entre a fragmentação florestal, o desmatamento e o desenvolvimento socioeconômico. Foram estudados 17 dos 22 municípios do estado, sendo 5 municípios (Brasiléia, Mancio Lima, Manoel Urbano, Santa Rosa do Purus e Sena Madureira) retirados da análise por ter mais de 10% de cobertura de nuvem em um dos anos estudados.

A análise de correlação de Pearson apontou como municípios com maior densidade de fragmentos florestais (DF), aqueles com maior PIB e rebanho bovino, mostrando que o processo de fragmentação florestal está associado à pecuária e ao nível de atividade econômica em geral. Além disso, os municípios com maior densidade de rebanho bovino apresentam maiores taxas de desmatamento e maior densidade de fragmentos menores, duas variáveis que apresentaram também alta correlação entre si. A fragmentação florestal também mostrou alta correlação com o percentual alfabetizado da população, que está associado à concentração de renda *per capita*, confirmando que o processo de fragmentação florestal e desmatamento nos municípios do estado está associado ao nível de atividade econômica em geral e ao maior porcentual de pesoas alfabetizadas (Andersen et al., 2002).

Os modelos de regressão linear múltipla, utilizando os indicadores socioeconômicos do Censo Agropecuário, mostram que os municípios com maior desmatamento e maior fragmentação (número e densidade de fragmentos) são aqueles com maior rebanho de gado bovino, enquanto que os com maior cobertura florestal e fragmentos maiores apresentam menor rebanho. Os municípios com maior fragmentação florestal são também aqueles com maior PIB e com propriedades rurais menores, enquanto que os municípios com fragmentos maiores são aqueles com propriedades maiores e com menor investimento no setor agropecuário. Aparentemente a criação de gado em propriedades menores acarreta maior fragmentação, provavelmente porque para obtenção de maior renda em propriedades pequenas seja necessário utilizar uma proporção maior da propriedade com pastagens, ao contrário das grandes propriedades, que podem manter uma área maior coberta por florestas sem influência significativa na renda, além de um uso menos intensivo (menor densidade de rebanho).

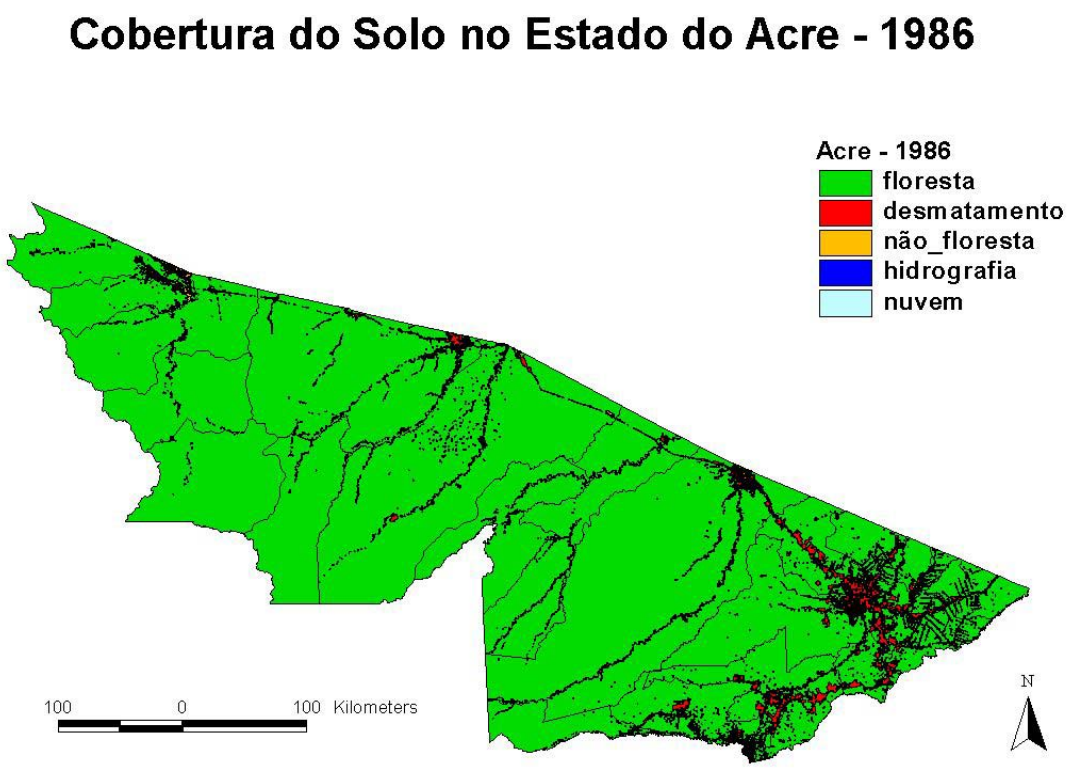

Figura 1. Mapa de cobertura do solo do Acre (1986), com limites municipais (Fonte: TRFIC).

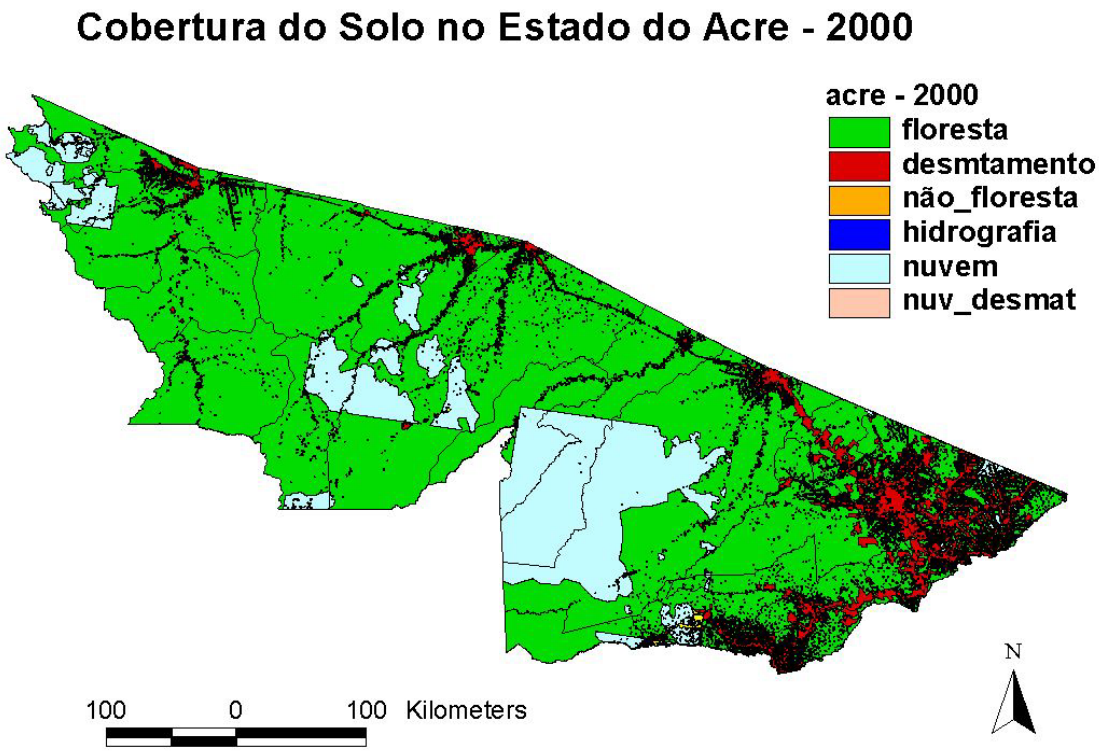

Figura 2. Mapa de cobertura do solo do Acre (2000), com limites municipais (Fonte: PRODES).

Os modelos de regressão múltipla utilizando os indicadores do Censo Demográfico mostraram que os municípios com maior perda de floresta e maior densidade de fragmentos são aqueles mais ricos (maior renda), com mais domicílios, mas com menor população rural e urbana. Por outro lado, os municípios com maior cobertura florestal e fragmentos maiores

são aqueles com menor renda e menor população rural. Ou seja, os municípios menos populosos e mais ricos apresentam índices mais altos de fragmentação e desmatamento. Os municípios com maior fragmentação são também aqueles com menor esperança de vida. Além disso, os fragmentos com borda mais recortada (i.e., com maior efeito de borda) estão concentrados nos municípios com maior taxa de alfabetização indicador diretamente correlacionado com a renda e esperança de vida. Contrastando os municípios com maiores índices de desmatamento e fragmentação com os que apresentam maior cobertura florestal e fragmentos maiores, nota-se que os fatores determinantes não são o tamanho da população rural e urbana, mas sim a renda, que está associada à criação de gado bovino.

Estas análises iniciais permitem concluir que a criação de gado bovino e a renda são os principais fatores socieconômicos correlacionados com a fragmentação florestal e o desmatamento nos municípios do Acre, sendo que os municípios com propriedades rurais menores apresentam maiores índices de fragmentação florestal. Estes resultados corroboram diversos estudos que apontam o rebanho bovino como um dos principais fatores relacionados com o desmatamento na Amazônia Legal (ANDERSEN et al., 2002; MARGULIS, 2003). Estes resultados preliminares serão confrontados com resultados de outros métodos de análise e com o uso de índices métricos adicionais, bem como a incorporação de outras variáveis ambientais e de infra-estrutura, como a expansão e pavimentação da rede viária, e aplicado à toda a Amazônia Legal.

A identificação de relações consistentes entre os diferentes fatores (ambientais, políticos e socio-econômicos) e os padrões espaciais de uso e cobertura do solo pode auxiliar na construção de modelos de previsão dos possíveis impactos futuros do processo de desenvolvimento na biodiversidade da região e, devido às implicações relacionadas com a transferência de carbono da floresta para atmosfera em função dos desmatamentos e queimadas, na dinâmica climática do planeta. Espera-se que o enfoque proposto neste projeto possa contribuir para o desenvolvimento e refinamento de novos modelos de previsão desses impactos na Amazônia Legal.

REFERÊNCIAS

ACRE. **Zoneamento ecológico-econômico: aspectos socioeconômicos e ocupação territorial: documento final**. Governo do Estado do Acre. Programa Estadual de Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Acre. Rio Branco: Secretaria de Estado de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente. 2000.

ALVES, D.S. An analysis of the geographic patterns of deforestation in Brazilian Amazônia in the 1991-1996 period. In. XLVIII Annual Conference of the Center for Latin American Studies - Pattern and Process of Land Use and Forest Change in the Amazon. **Proceedings**. Gainesville: Univ. of Florida. 1989.

ANDERSEN, L.E. The Causes of Deforestation in the Brazilian Amazon. **J. of Envir. And Development** 5: 309-328. 1996.

ANDERSEN, L.E.; GRANGER, C.W.J.; REIS, E.J.; WEINHOLD D.; WUNDER, S. **The dynamics of deforestation and economic growth in the Brazilian Amazon**. Cambridge: Cambridge University Press. 2002.

ANDERSEN, L.E.; REIS, E. **Deforestation, development and government policy in the Brazilian Amazon: an econometric analysis**. Texto para discussão Nº. 513. Rio de Janeiro: IPEA. 1997.

BATISTELLA, M.; BRONDIZIO, E. Uma estratégia integrada de análise e monitoramento do impacto ambiental de assentamentos rurais na Amazônia. In. ROMEIRO, A.R. (Org) **Avaliação e contabilização de impactos ambientais**. São Paulo: Ed. UNICAMP/Imprensa Oficial do Estado de São Paulo. p.74-86. 2004.

BATISTELLA, M.; ROBESON, S.; MORAN, E.F. Settlement design, forest fragmentation, and landscape change in Rondônia, Amazônia. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing** 69: 805-812. 2003..

BENNET, A.F. **Linkages in the landscape: the role of corridors and connectivity in wildlife conservation.** Cambridge: IUCN. 1999.

BOCKSTAEL, N.E. Modeling economics and ecology: the importance of a spatial perspective. **Amer. J. Agric. Econom.** 78:1168-1180. 1996.

BOHRER, C.B.A.; CAMPOS, A.N.S. Estimativa da biomassa da Amazônia Legal a partir de dados provenientes de inventário florestal. I Congresso Florestal Panamericano / VII Congresso Florestal Brasileiro. Cuririba. **Anais.** São Paulo: SBS-SBEF. p.511-512. 1993.

BOHRER, C.B.A.; FIORAVANTE, H.; OLIVEIRA, L.C.; FARIA, C.P.; SILVA, A.L.G. Desenvolvimento de um sistema de informações espaciais ambientais e socioeconômicas para a Amazônia Legal: o SIG-AML. VIII Seminário de Acompanhamento NEMESIS / I Seminário de Estudos Regionais e Urbanos. São Paulo: Nemesis/FEA/FGV. (http://www.nemesis.org.br). 2001.

BOHRER, C.B.A.; PIRES, I.O.; IERVOLINO, P.; BUSTO, R. Implantação de um SIG para a Amazônia Legal: estimativa da área dos tipos de vegetação e de solos nos municípios da Amazônia Legal. In. XV Encontro Nacional de Geógrafos. Cuririba. **Resumos**. Curitiba: AGB-UFPr. p.123. 1994.

BRASIL, **Levantamento de recursos naturais**. Rio de Janeiro:MME–SG / P. RADAMBRASIL Vols 2-31. 1973-1984.

CHOMITZ, K. M.; GRAY, D.A. Roads, land use and deforestation: a spatial model applied to Belize. **World Bank Econom. Rev.** 10: 487-512. 1996.

CHOMITZ, K.M. e THOMAS, T.S. Determinats of land use in Amazônia: a fine-scale spatial analysis. **Amer. J. of Econom.** 85:1016-1028. 2003.

CHOMITZ, K.M. e THOMAS, T.S. **Geographic patterns of land use and land intensity in the Brazilian Amazon**. Washington DC: World Bank Working Paper. 2000.

DALE, V.H.; PEARSON, S.M. Quantifying habitat fragmentation due to land use change in Amazonia. In. LAURANCE, W.F.; BIERREGAARD-JR, R.O. (eds) **Tropical forest remnants - ecology, management and conservation of fragmented communities**. Chicago: The Univ. of Chicago Press. p. 400-409. 1997.

FAHRIG, L. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. **Ann. Rev. Ecol. Evol. Syst**. 34: 487-515. 2003.

FEARNSIDE, P.M. Deforestation in Brazilian Amazonia: history, rates, and consequences. **Conservation Biology** 19 (3): 680-688. 2005.

FORMAN, R.R.T.; GODRON, M. **Landscape ecology.** New York: John Wiley & Sons. 1986.

FORMAN, R.T.T. **Land mosaics: the ecology of landscapes and regions**. Cambridge: Cambridge Univ. Press. 1997.

FORMAN, R.T.T.; ALEXANDER., L.E. Roads and their major ecological effects. **Ann. Rev. Ecol. and Systematics** 29:307-331. 1998.

FURLEY, P.A.. (ed) **The forest frontier: settlement and change in Brazilian Roraima**. New York: Routledge. 1994.

GASH, J.H.C.; NOBRE, C.A.; ROBERTS, J.M.; VICTORIA, R.L. (eds) **Amazonian deforestation and climate**. Chichester: John Wiley & Sons. 1996.

GOODCHILD, M.F.; PARKS, B.O.; STAYERT, L.T. **Environmental modelling with GIS**. Oxford: Oxford Un. Press. 1993.

GOODLAND, R.J.A.; IRWIN, H.S. **Amazon jungle: green hell to red desert? An ecological discussion of the environmental impact of the highway construction program in the Amazon basin.** New York: Elsevier Scientific Pub. 1975

IBGE (1997) **Diagnóstico ambiental da Amazônia Legal**. Zoneamento Ecológico-Econômico da Amazônia Legal. Rio de Janeiro: SAE/IBGE, CD-ROM. 1997.

INPE. **Deforestation in Brazilian Amazonia**. S. J. dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 1992.

INPE. **Monitoramento da floresta Amazônica por satélite, 1999-2000**. S. J. dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. http://www.inpe.br/Informacoes_eventos/amazonia.htm. 2001

KAIMOWITZ, D.; ANGELSEN, A. **Economic models of tropical deforestation: a review**. Bogor: Center for International Forestry Research. 1998.

LAURANCE, W.F.; ALBERNAZ, A.K.M.; SCROTH, G.; FEARNSIDE, P.M.; BERGEN, S.; VENTICINQUE, E.M.; COSAT, C. Predictors of deforestation in the Brazilian Amazon. **J. Biogeography** 29: 737-748. 2002.

LAURANCE, W.F.; BIERREGARD-JR, R.O. **Tropical forest remnants: ecology, management, and conservation of fragmented communities**. Chicago: Univ. of Chicago Press. 1997.

LAURANCE, W.F.; COCHRANE, M.A.; BERGEN, S.; FEARNSIDE, P.M.; DELAMÔNIA, P.; BARBER, C.; D'ÂNGELO, S.; FERNANDES, T. The future of the Brazilian Amazon. **Science** 291: 438-439. 2001.

MARGULIS, S. **Causas do desmatamento da Amazônia Brasileira**. Brasília: Banco Munidal. 2003.

McGARIGAL, K.; MARKS, B.J. **FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure**. U.S. Forest Service General Technical Report PNW 351. 1995.

MORAN, E.F. 1993. Deforestation and land use in the Brazilian Amazon. **Human Ecology** 21: 1-21.

NELSON, G.C.; HELLERSTEIN, D. Do roads cause deforestation? Using satellite images in econometric analysis of land use. **American J. of Agricultural Economics** 79: 80-88. 1997.

NEPSTAD, D.; CARVALHO, G.; BARROS, A.C.; ALENCAR, A.; CAPOBIANCO, J.P.; BISHOP, J.; MOUTINHO, P.; LEFEBVRE, P.; SILVA JR, U.L.; PRINS, E. Road paving, fire regime feedbacks, and the future of Amazon forests. **For. Ecol. Manage**. 5524: 1-13. 2001

O'NEILL, R.V.; KRUMMEL, J.R.; GARDNER, R.H.; SUGIHARA, G.; JACKSON, B.; DEANGELIS, D.L.; MILNE, B.T.; TURNER, M.G.; ZYGMUNT, B.; CHRISTENSEN, S.W.; DALE, V.H.; GRAHAM R.L. Indices of landscape pattern. **Landscape Ecology** 1: 153-162. 1988.

OLIVEIRA-FILHO, L.C. **Efeitos da macro-estratificação do potencial florestal da Amazônia**. Belém: IBGE. Mimeo. 1991.

PASQUIS, R.; MACHADO, L.; GUERRA, R. **Diagnóstico dos formatos de ocupação do espaço amazônico**. Brasília: CIRAD-MMA. 2001.

PEDLOWSKI, M.A.; DALE, V.H.; MATRICARDI, E.A.T.; SILVA-FILHO, E.P. Patterns and impacts of deforestation in Rondônia, Brazil. **Landsc. Urban Plann.** 38: 149-157. 1997.

PERZ, S.G. Household demographic factors as life cycle determinants of land use in the Amazon. **Population Research and Policy Review** 20:159-186. 2001.

PFAFF, A.S.P. What drives deforestation in the Brazilian Amazon? **J. Env. Econ. and Manage.** 37:26-43. 1999.

PFAFF, A.S.P.; REIS, A.; BOHRER, C.; ROBALINO, J. Basin-scale econometric modeling II: spatial disaggregation and spatial impacts. III Conferência Científica do LBA – Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia. Brasília: **Anais**. 2004. CD-ROM.

PROBIO. **Avaliação e identificação das arras prioritárias para conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade dos biomas brasileiros**. Brasília: MMA/SBF. 2002.

REIS, E.J.; GUZMÁN, R. An econometric model of Amazon deforestation. **Texto para Discussão** Nº 265. Rio de Janeiro: IPEA. . 1992.

REIS, E.J.; MARGULIS, S. Options for slowing Amazon jungle clearing. In. Dornbusch, R., Poterba, J.M. (eds) **Global warming: economic policy responses**. Cambridge: MIT Press. p.335-375. 1991.

REIS, E.J.; GUZMÁN, R. An econometric model of Amazon deforestationin. In. K. BROWN, K, PEARCE, D. (eds) **The Causes of Tropical Deforestation.** Vancouver: University of British Columbia Press. p.172-191. 1994.

REIS, E.J.; PFAFF, A.; BOHRER, C.B.A.; WALKER, R.; PERZ, S.; CALDAS, M.; ARIMA, E.; SOUZA-JR, C.; QI, J. Econometric modeling of land-use choice: theory and data. In: VII Encontro Científico LBA-ECO. Fortaleza. Resumos. 2003. CD-ROM.

SCHELHAS, J.; GREENBERG, R. **Forest patches in tropical landscapes**. Washington DC: Island Press. 1996.

SHUGART, H.H. **Terrestrial ecosystems in changing environments**. Cambridge: Cambridge Univ. Press. 1998.

SKOLE, D.; TUCKER, C. Tropical deforestation and habitat fragmentation in the Amazon: satellite data from 1978 to 1988, **Science** 260:1905-1910. 1993.

SKOLE, D.L.; CHOMENTOWSKI, W.H., SALAS, W.A.; NOBRE, A.D. Physical and human dimensions of deforestation in Amazonia. **BioScience** 44: 314-322. 1994.

SKOLE, D.L.; MOORE III, B.; CHOMENTOWSKI, W.H. Global geographic information systems and databases for vegetation change studies. In. SOLOMON, A.M.; SHUGART, H.H. (eds.) **Vegetation dynamics and global change**. New York: Chapman & Hall. p.168-189. 1993.

SOLOMON, A.M.; SHUGART H.H. (eds) **Vegetation dynamics and global change**. New York: Chapman & Hall. 1993.

TROMBULAK, S.C.; FRISSELL, C.A.. Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities. **Conservation Biology** 14: 18-30. 2000.

TURNER, M.G.; GARDNER, R.H. **Quantitative methods in landscape ecology**. New York: Springer-Verlag. 1991.

WALKER, R.T. Mapping process to patterns in the landscape change of the Amazonian frontier. **Ann Assoc. Amer. Geographers** 93: 376-398. 2003.

WALKER, R.T.; DRZYZGA, S.; LI, Y.; QI, J.; CALDAS. M.; QI, J.; ARIMA, E.; VERGARA. D. A behavioral model of landscape change in the Amazon basin.: the colonist case. **Ecological Applications** 14 Supplement, p.S299-S312. 2004..

WALKER, R.T.; MORAN, E.; ANSELIN, L. Deforestation and cattle ranching in the Brazilian Amazon: external capital and household processes. **World Development** 28: 683-699. 2000.

WALKER, R.T.; PERZ, S.G.; CALDAS, M.; TEIXEIRA SILVA, L.G. Life cycle effects on land cover change in forest frontiers. **International Regional Science Review** 25:169-199. 2002.

WARING, R.H.; RUNNING, S.W. **Forest ecosystems - analysis at multiple scales**. San Diego: Academic Press.. 1998

WICHAM, J.D.; O'NEILL, R.V.; JONES, K.B. Forest fragmentation as an economic indicator. **Landscape Ecology** 15:171-179. 2000.

WOOD, C.H.; SKOLE, D.L. Linking satellite, census, and survey data to study deforestation in the Brazilian Amazon. In: LIVERMAN, D.; MORAN, E.F.; RINDFUSS, R.R.; STERN, N.D P.C. (eds) **People and pixels: linking remote sensing and social science**. Washington, DC: National Academy Press. p.70-93. 1998.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho contou com suporte do Projeto NEMESIS (PRONEX/CNPq-FINEP), da Fundação Tinker e do Projeto LBA (CNPq-NASA). Os autores agradecem também o apoio do IPEA, da Universidade de Columbia, das Fundações José Bonifácio e Euclides da Cunha, e dos diversos pesquisadores e instituições que colocaram dados à disposição do projeto.